

ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ АСУ

УДК 004.891

А.А. Смагин, С.В. Липатова, Е.С. Кукин

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО МОНИТОРИНГА

Смагин Алексей Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Заведующий кафедрой телекоммуникационных технологий и сетей Ульяновского государственного университета. Имеет свыше 100 статей, изобретений, монографий в области разработки информационных систем различного назначения. [Тел.: (8422) 32-01-00].

Липатова Светлана Валерьевна, кандидат технических наук, окончила факультет информационных телекоммуникационных технологий Ульяновского государственного университета. Сотрудник кафедры телекоммуникационных технологий и сетей Ульяновского государственного университета. Специализируется в области создания информационных систем на базе нейронных сетей и экспертных систем. [Тел.: (8422) 32-01-00].

Кукин Евгений Серафимович, кандидат технических наук, доцент, окончил физический факультет Воронежского государственного университета. Главный конструктор, начальник научно-исследовательского отделения ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи в области разработки программного обеспечения для АСУ. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

В качестве метода проектирования продукционной базы знаний (БЗ) экспертной системы (ЭС) предложено использовать неоднородный граф с четырьмя типами вершин, расположенными слоями. Приведен алгоритм построения продукционного графа. Рассмотрена формализация типичных ситуаций.

Ключевые слова: экспертные системы, базы знаний, морской мониторинг.

Abstract

The article suggests a heterogeneous graph with four node types which are organized by layers, to be used as a design method of production knowledge base of expert system. It also deals with an algorithm of production graph creation and formalization of typical situations.

Key words: expert systems, knowledge bases, sea monitoring.

Ядром любой экспертной системы является база знаний. При использовании оболочки ЭС и при отсутствии интерфейса, адаптированного для пользователя, разработка ЭС может свестись к созданию БЗ. Следовательно, создание БЗ — один из ключевых вопросов при построении ЭС.

Процесс создания БЗ можно разделить на следующие этапы: постановка задачи, извлече-

ние знаний, структурирование и формализация знаний, кодирование знаний.

Перед непосредственным построением модели БЗ необходимо получить экспертные знания. При извлечении знаний используются методы анализа текстов и интервьюирование экспертов. Одним из источников знаний по решению задачи «Предупреждение столкновения судов» является

нормативный документ «Международные правила предупреждения столкновений судов в море – 72».

Создание БЗ ЭС морского мониторинга (ЭСММ) включает этапы *структурирования и формализации экспертных знаний*, позволяющие проектировать БЗ системы. Большая часть решений достаточно легко формулируется в виде предложений «Если – то», например: «Если судно не выходит на связь в течение заданного промежутка времени X, и это судно не покидало район мониторинга и не является подводной лодкой, то, значит, с этим судном потеряна связь, необходимо попытаться установить связь альтернативными способами». Поэтому предлагается для формализации знаний использовать продукционную модель, которая потребует меньших временных затрат по сравнению с другими моделями представления знаний для преобразования поля экспертных знаний в модель знаний, так как структурная единица модели – продукция – совпадает с формой предложения «Если – то».

Перед созданием проекта БЗ выбирается *метод формализации знаний*. ЭСММ должна обладать возможностью расширения множества решаемых задач. Для этого требуется средство ведения БЗ в терминах предметной области, чтобы эксперты могли самостоятельно создавать и редактировать продукции, не обладая навыками по формированию моделей представления знаний.

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННОЙ БЗ ЭСММ

В качестве метода проектирования продукционной БЗ, не требующего от эксперта подготовки и учитывающего особенности продукционного представления, предлагается использовать неоднородный граф с четырьмя типами вершин, которые располагаются слоями (уровнями):

- факты или данные (первый уровень);
- условия, в которых используются данные (второй уровень);
- логические связки, отражающие основные логические операции «и», «или» и «не» (третий уровень);
- рекомендации или выводы (четвертый уровень).

Третий уровень может быть

при необходимости расширен и другими логическими операторами.

Каждой вершине-рекомендации соответствует продукция, в которой вершина-рекомендация становится правой частью продукции, а левой – совокупное условие, которое формируется при продвижении от простых условий второго уровня к уровню рекомендаций через логические вершины. Активировать эту продукцию будут факты, соответствующие данным, связанным с простыми условиями, участвующим в создании продукции и удовлетворяющим их требованиям. Множество входных данных определяется совокупностью всех вершин первого слоя, множе-

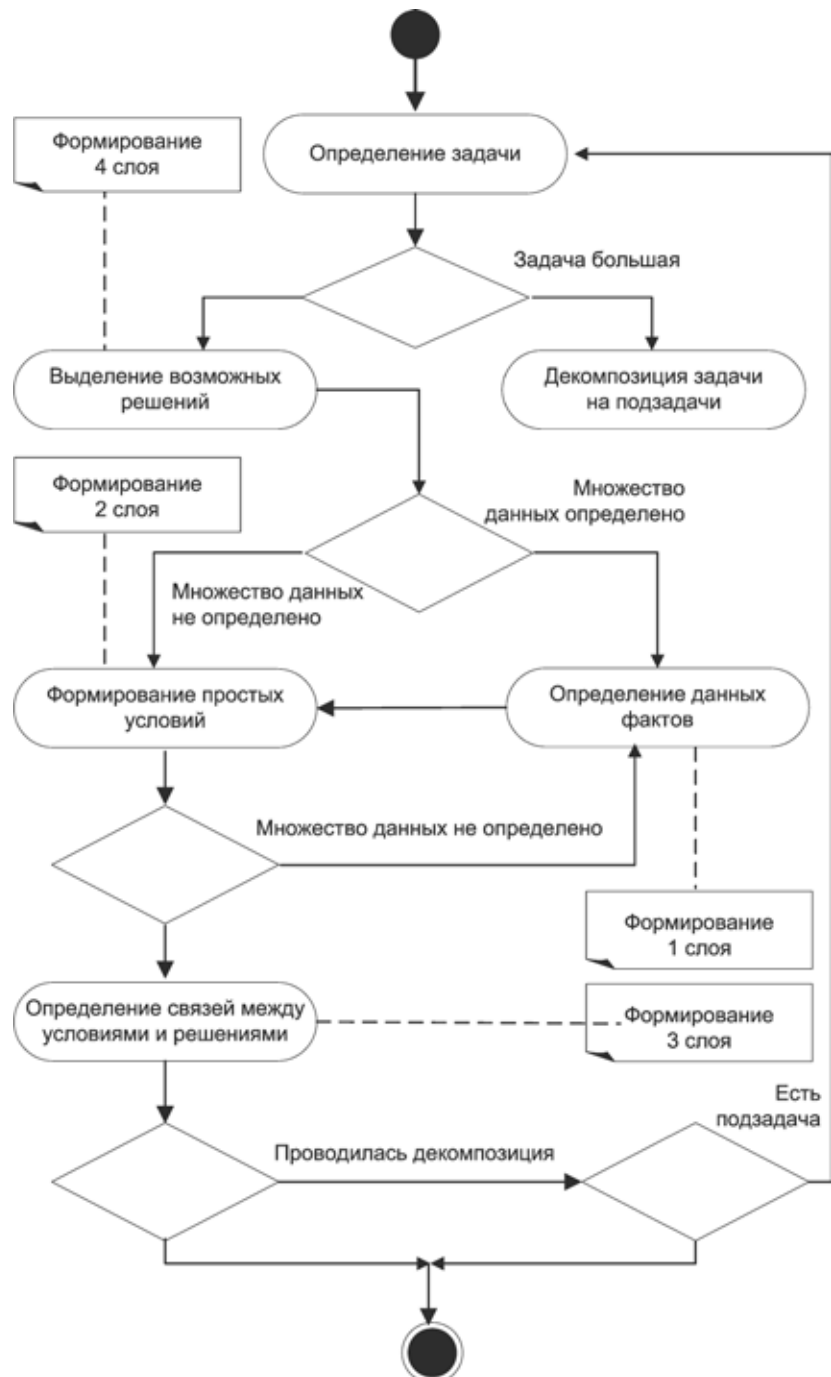


Рис. 1. Алгоритм построения продукционного графа

ство выходных данных системы — совокупностью вершин четвертого слоя. Каждая вершина четвертого слоя графа определяет рекомендацию, разрешение ситуации, а продвижение вверх от этой вершины по графу приводит к условиям, классифицирующим ситуацию, и данным, которые необходимы для определения наличия условий.

Формально такой граф можно определить как четверку вида

$$G = \langle D, U, L, R \rangle, \quad (1)$$

где D — конечное множество данных;

U — конечное множество условий, которые могут принимать значения «Истина», «Ложь» или «Не определено» (данные могут обладать неопределенностью) и используют в качестве параметров элементы множества D ;

L — конечное множество составных условий (операторов), которые связывают элементы множества U логическими операторами «и» ($\&$), «или» ($\|$) и «не» ($;$);

R — конечное множество рекомендаций.

Множества U и L семантически являются одним множеством, такое разделение сделано для того, чтобы взаимосвязь продукций была представлена более наглядно, и чтобы имеющиеся подусловия не повторялись.

За счет такого представления модели БЗ можно выделить не связанные между собой ситуации (они не будут иметь общих вершин), имеющиеся противоречия (ведущие пути к противоположным по смыслу вершинам четвертого уровня), альтернативные решения (аналогично противоречиям, но эксперт считает, что приемлемы несколько рекомендаций); определить минимальный набор входных данных (если вершина первого уровня не связана с вершинами второго уровня, или вершина второго уровня не связана ни с третьим, ни с четвертым уровнями, то эти данные можно считать избыточными для данной БЗ). Использование такого метода позволяет легко объединять и наращивать существующие БЗ, для этого достаточно объединить имеющиеся множества.

Алгоритм построения продукционного графа можно представить следующим образом (рис. 1):

1. Определить задачу или ситуацию, которую надо решить или разрешить. Она не должна быть слишком большой или сложной. Если это так, то надо произвести ее декомпозицию на подзадачи. Для каждой подзадачи построить свой граф.

2. Выделить возможные решения текущей задачи, каждое решение представить в виде отдельной вершины четвертого слоя.

3. Определить имеющиеся в наличии данные, представить их в виде отдельных вершин первого слоя (в случае, если входные данные заранее

известны или возможность их получения ограничена). Определить, не зависит ли содержание отдельных вершин от содержания других, если это так, исключить их (для определения минимального набора затем при проектировании всей системы можно будет решить вычислять ли эти данные, входящие в вершину, или получать со входов системы). Если входные данные могут быть произвольными и заранее не определены, то вначале строится второй уровень (пункт 4), после чего все параметры условий второго уровня выносятся на первый.

4. Вершиной второго уровня сделать любое простое условие, которое классифицирует рассматриваемую ситуацию, влияет на выбор решения задачи. Все вершины второго уровня должны быть соединены с вершинами первого слоя, содержание которых используется в них в качестве параметров. Если такой вершины нет, то она добавляется с учетом возможности получения необходимых данных (в случае ограниченного набора входных данных). Если данные получить невозможно, то вершины исключаются.

5. Вершины четвертого уровня и второго соединяются вершинами третьего уровня так, что путь от четвертого уровня ко второму образует совокупность вершин третьего уровня, содержащих логические связки, характеризующие ситуацию таким образом, что ее можно разрешить рекомендацией, отображенной связанной вершиной четвертого уровня.

6. Если производилась декомпозиция сложной задачи и построены модели всех подзадач (при этом желательно использовать сквозную нумерацию вершин и не дублировать уже использованные условия), нужно объединить полученные множества в одно. При этом выходные вершины одного множества будут являться входными для другого, в этом случае продукциям первой модели нужно присвоить более высокий приоритет по сравнению с продукциями второй модели.

Метод позволяет достаточно легко добавлять новые продукты, связанные с существующими, и разделять модель знаний на отдельные модели подзадач без ущерба ее целостности, контролируя появление избыточности в знаниях.

Воспользуемся описанным методом построения продукционной модели базы знаний для набора типичных ситуаций морского мониторинга: *столкновение судов друг с другом, столкновение судов с навигационными опасностями, потеря контакта с судном, пересечение судами, не имеющими на это право, государственной границы, закрытого района или района промысла, отклонение судна от заданного маршрута движения*. Модели знаний представляются в виде графа и в виде формул согласно (1). Продукционная модель БЗ типичных ситуаций морского мониторинга формируется путем объединения отдельных моделей ситуаций.

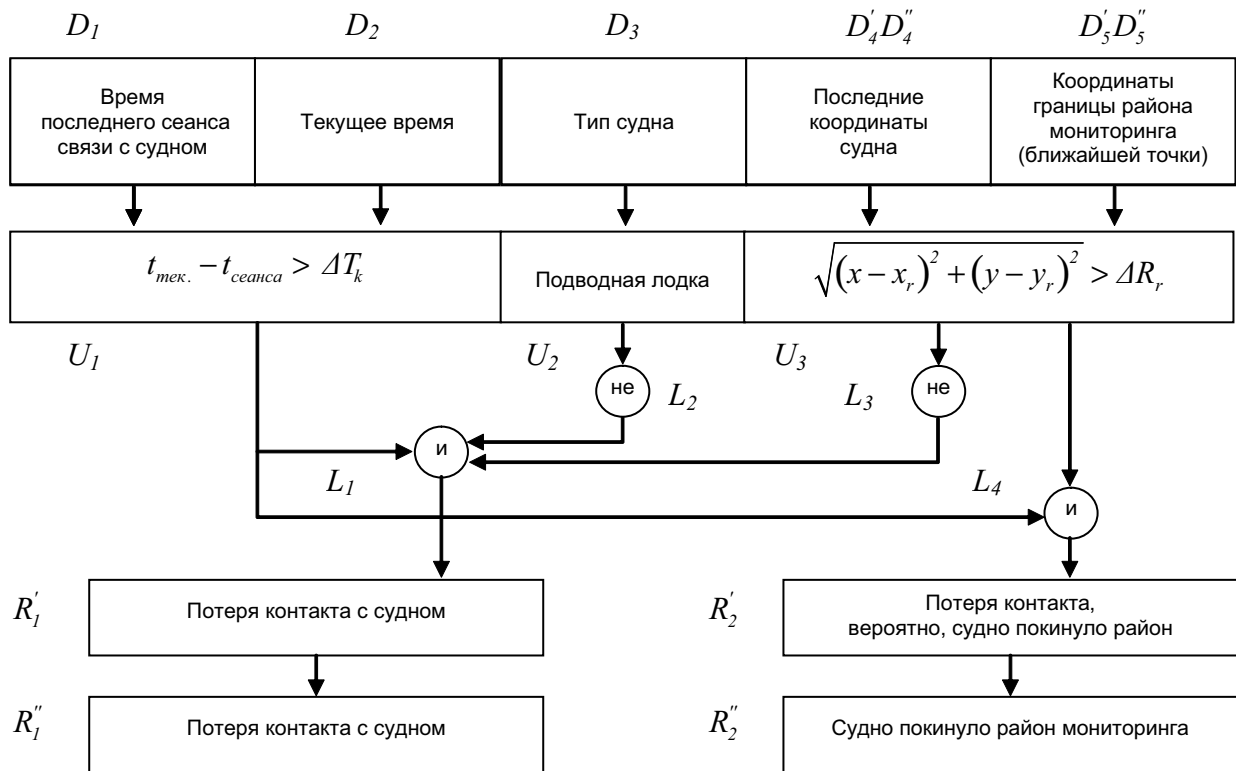


Рис. 2. Модель ситуации «Потеря контакта»

ПОСТРОЕНИЕ ПРОДУКЦИОННОЙ БЗ морского МОНИТОРИНГА

Рассмотрим формализацию типичных ситуаций с помощью предлагаемого выше подхода. Граф (рис. 2) отображает ситуацию «Потеря контакта». Для выявления такой ситуации необходима информация о времени последнего сеанса связи, о типе судна (подлодка может сутками не выходить на связь) и о том, не вышло ли судно из района мониторинга. Константы $\Delta T_k, \Delta R_r$ определяют представление эксперта о «безопасном интервале молчания» судна и о том, какое расстояние от границ района мониторинга следует считать неконтролируемым.

Формально граф ситуации «Потеря контакта» описывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 D_1^k &= \Delta T_k; \quad D_3^k = \text{"подводная лодка"}; \\
 D_2^k &= \Delta R_r; \quad U_1 : D_2 - D_1 > D_1^k; \\
 U_2 : D_3 &= D_2^k; \\
 U_3 : \sqrt{(D_4' - D_5')^2 + (D_4'' - D_5'')^2} &> D_2^k; \\
 L_2 &= \bar{U}_2; \quad L_3 = \bar{U}_3; \quad L_4 = U_3 \& U_1; \\
 L_1 &= L_3 \& L_2 \& U_1 = \\
 &= \bar{U}_3 \& \bar{U}_2 \& U_1 \rightarrow R_1' \& R_1''.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

При записи сложного условия вершин L преобразования по законам математической логики делать нельзя, т.к. данные могут обладать

неопределенностью, и, значит, неравенство $\bar{U} \diamond \bar{U}$ может быть неверно.

Аналогично описывается ситуация «Отклонение от маршрута» (рис. 3):

$$\begin{aligned}
 D_4^k &= \Delta R_m; \quad D_8^k = \text{"цунами"}; \\
 D_5^k &= \Delta T_m; \quad D_9^k = \text{"сильный ветер"}; \\
 D_6^k &= \text{"шторм"}; \quad D_{10}^k = \text{"малое судно"}; \\
 D_7^k &= \text{"ураган"}; \quad D_{11}^k = \text{"высокая"};
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 U_4 : \sqrt{(D_4' - D_6')^2 + (D_4'' - D_6'')^2} &> D_4^k; \\
 U_5 : D_2 - D_7 &> D_5^k; \\
 U_6 : D_8 &= D_5^k \parallel D_6^k \parallel D_7^k; \\
 U_7 : D_8 &= D_8^k \parallel D_9^k; \\
 U_8 : D_3 &= D_{10}^k; \\
 U_9 : D_9 &= D_{11}^k; \\
 L_5 &= U_4 \parallel U_5; \\
 L_8 &= U_6 \parallel U_7; \\
 L_9 &= L_8 \mid \& U_5 = (U_6 \parallel U_7) \& U_5; \\
 L_{10} &= U_3 \parallel U_6;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{13} &= \bar{L}_{10} = \bar{U}_3 \parallel \bar{U}_6; \\
 L_7 &= L_9 = (U_6 \parallel U_7) \& U_5; \\
 L_{11} &= L_{10} \& L_5 \rightarrow R_5' \& R_5'' = \\
 &= (U_3 \parallel U_6) \& (U_4 \parallel U_5) \rightarrow R_5' \& R_5'';
 \end{aligned}$$

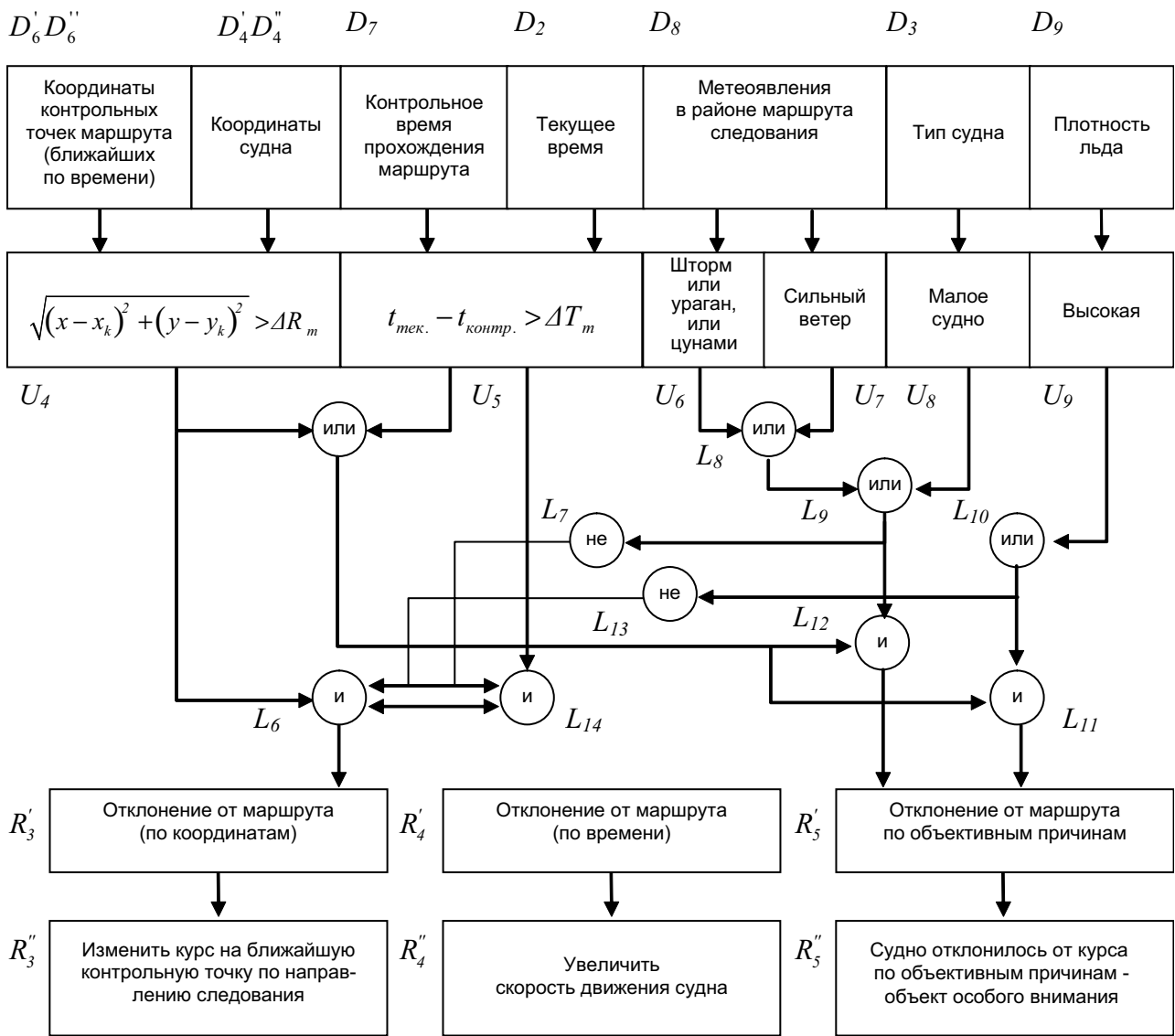


Рис. 3. Модель ситуации «Отклонение от маршрута»

$$L_{12} = L_9 \& L_5 \rightarrow R_5' \& R_5'' = ((U_6 \parallel U_7) \& U_5) \& (U_4 \parallel U_5) \rightarrow R_5' \& R_5'';$$

$$L_{14} = L_7 \& L_{13} \& U_5 \rightarrow R_4' \& R_4'' = (U_6 \parallel U_7) \& U_5 \& U_3 \parallel U_6 \& U_5 \rightarrow R_4' \& R_4'';$$

$$L_6 = U_4 \& L_7 \& L_{13} \rightarrow R_3' \& R_3'' = (U_6 \parallel U_7) \& U_5 \& U_3 \parallel U_6 \& U_4 \rightarrow R_3' \& R_3''.$$

После завершения формирования моделей основных типичных ситуаций («Потеря контакта», «Отклонение от маршрута», «Выход в разрешенный район промысла, сближение с государственной границей, закрытым районом и навигационной опасностью», «Сближение судов: определение характера ситуации», «Плавание в условиях ограниченной видимости», «Взаимные обязанности судов» и т.д.) можно построить продукционную модель БЗ ЭСММ. Для этого необходимо объединить построенные модели ситуаций. При построении моделей использовалась сквозная нумерация переменных и учитывалось,

если переменная уже встречалась в предыдущих моделях, то модель продукционной БЗ ЭСММ будет описываться следующим образом:

$$G = \langle \{D_i, D_l', D_l''\}, \{U_m, U_k'\}, \{L_n\}, \{R_s, R_t', R_p''\} \rangle, \quad (4)$$

где $i=1..l$;

$$l=1..L; \quad m=1..M;$$

$$k=21..K; \quad s=1..S;$$

$$t=1..T; \quad p=P,$$

здесь i, l, m, k, s, t, p — целые, ограниченные по величинам L, M, K, S, T, P соответственно, вследствие учета реальных условий протекания процессов в типичных ситуациях.

Рассмотренные ситуации являются типичными для предметной области «Морской мониторинг». Для работы эксперта достаточно только графического представления: оно позволяет установить взаимосвязи между элементами поля знаний. Формальное описание графов позволяет когнитологу отследить взаимосвязанные и

зависимые ситуации, повторяющиеся в решении структуры, объединить модели ситуаций в одну модель БЗ.

ПОСТРОЕНИЕ ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ БЗ

Чтобы построить объектную модель, интегрированную с продукционной моделью БЗ, требуется структурировать каким-либо образом все входные данные, входящие в продукционную модель; выделить абстрактные или реальные объекты, которые станут классами, и определить их атрибуты. При использовании продукционной модели на практике часто применяется объектно-ориентированный подход, важным преимуществом которого является возможность структурировать данные и объединять с методами их обработки.

Для построения модели классов предлагается алгоритм, состоящий из следующих шагов:

1. Определить множество входных данных (множество D).

2. Определить класс, для этого нужно найти несколько элементов множества, которые характеризуют один объект реальности или какой-либо абстракции (например, «галс судна», «скорость судна», «тип судна» характеризуют судно или корабль, следовательно, требуется создать класс «Судно»).

3. Определить все атрибуты данного класса, нужно проверить все элементы множества D , принадлежат ли они данному классу (характери-

зуют ли они выбранный объект).

4. Если еще остались не использованные в классах элементы множества D , повторить пункты 2 и 3. Если новые классы не удалось добавить, то необходимо добавить оставшиеся элементы в существующие классы (в те, атрибуты которых будут использоваться в множествах U или L вместе с этим элементом). Необходимо определить идентификаторы объектов (аналогично первичным ключам в реляционных БД).

5. Необходимо связать классы между собой (аналогично внешним ключам в реляционных БД).

Для описанной продукционной модели модель классов может быть представлена следующим образом (рисунок 4). Объекты «Судно», «Ситуация» и «Среда» явно обнаруживаются в данных (они используются неоднократно). В объект «Среда» добавляется атрибут «Видимость», так как есть ситуации ограниченной видимости и плавания при любой видимости.

Объекты «Район», «Объект» и «Маршрут» вводятся для предотвращения избыточности данных (аналогично избыточности при проектировании реляционных баз данных). Точки маршрута могут принадлежать различным маршрутам. В районе могут находиться различные объекты: государственная граница, закрытый район, район промысла, навигационная опасность (атрибут «Тип объекта»); у объекта несколько точек, так как он имеет размер и форму. Объект может принадлежать нескольким районам.

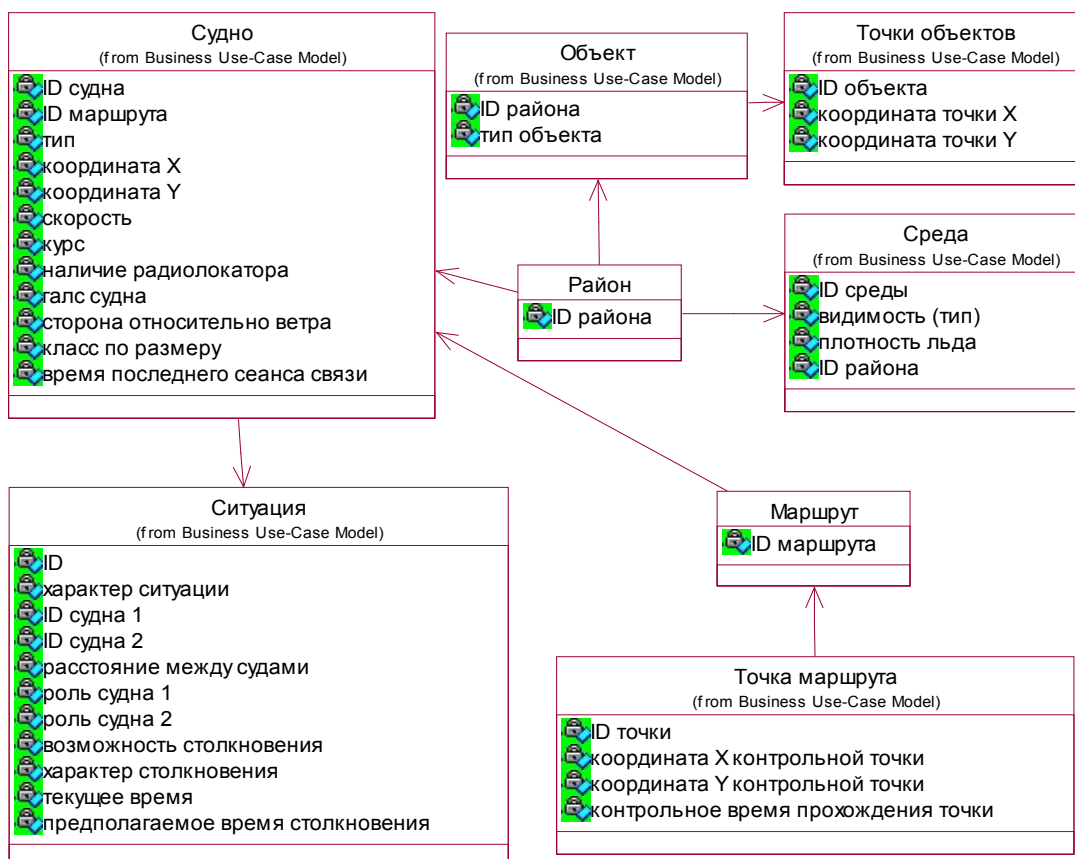


Рис. 4. Модель классов

Продукционная и объектная модели предметной области могут быть вариативны, каждый когнитолог или эксперт может построить свою, отличную от других, модель. Оценить эффективность модели можно лишь при ее использовании, именно поэтому этапы извлечения, структурирования и формализации знаний одни из наиболее важных при проектировании ЭС.

Кодирование БЗ

Реализация модели классов является простым процессом, так как в качестве средства формализации выбрана оболочка CLIPS, и языком описания является COOL.

Пример реализации — класс «Ситуация»:

```
(defclass Situazija (is-a USER) ; объявление Situazija
  класса наследника класса USER
  (role concrete) ; роль класса конкретный
  (slot ID_situazii (type INTEGER FLOAT))
  (slot Harakter_situazii (allowed-values net_kontakta
  stolknovenie nav_opasnost gosgraniza sakritii_raion))
  ; характер ситуации
  (slot ID_sreda (type INTEGER FLOAT)) ; идентифи-
  катор среды, в которой происходит ситуация
  (slot ID_raiona (type INTEGER FLOAT)) ; идентифи-
  катор района, в котором происходит ситуация
  (slot ID_sudna1 (type INTEGER FLOAT)) ; идентифи-
  катор первого судна, участвующего в ситуации
  (slot ID_sudna2 (type INTEGER FLOAT)) ; идентифи-
```

```
катор второго судна, участвующего в ситуации
(slot Rasstojanie (type INTEGER FLOAT)) ; начальное
расстояние между судами
(slot Rol_sudna1 (allowed-values obgonjaet ustupaet
obgonjaемое emu_ustupaut)) ; роль первого судна
(slot Rol_sudna2 (allowed-values obgonjaet ustupaet
obgonjaемое emu_ustupaut)) ; роль второго судна
(slot Stolknovenie (allowed-values yes no )) ; есть или
нет столкновения между судами
(slot Harakter_stolknovenija (allowed-values drug_na_
druga_peresechenie_kursa obgon )) ; характер сближе-
ния судов
(slot Time (type INTEGER FLOAT)) ; время
обнаружения ситуации
(slot T (type INTEGER FLOAT)) ; предпола-
гаемое время разворачивания ситуации
```

Класс «Ситуация» (Situazija) является конкретным и наследником суперкласса USER, содержит числовые (INTEGER FLOAT) и текстовые слоты (по умолчанию слот текстовый, поэтому определение типа в некоторых слотах опущено). Слоты: Harakter_situazii, Rol_sudna2, Rol_sudna1, Stolknovenie, Harakter_stolknovenija могут принимать значения только из определенного атрибутами allowed-values массива. В CLIPS не поддерживается кириллица, поэтому все возможные значения слотов заданы на латинице. Аналогично задаются и другие классы. В случае отсутствия объектов в оболочке ЭС возможно

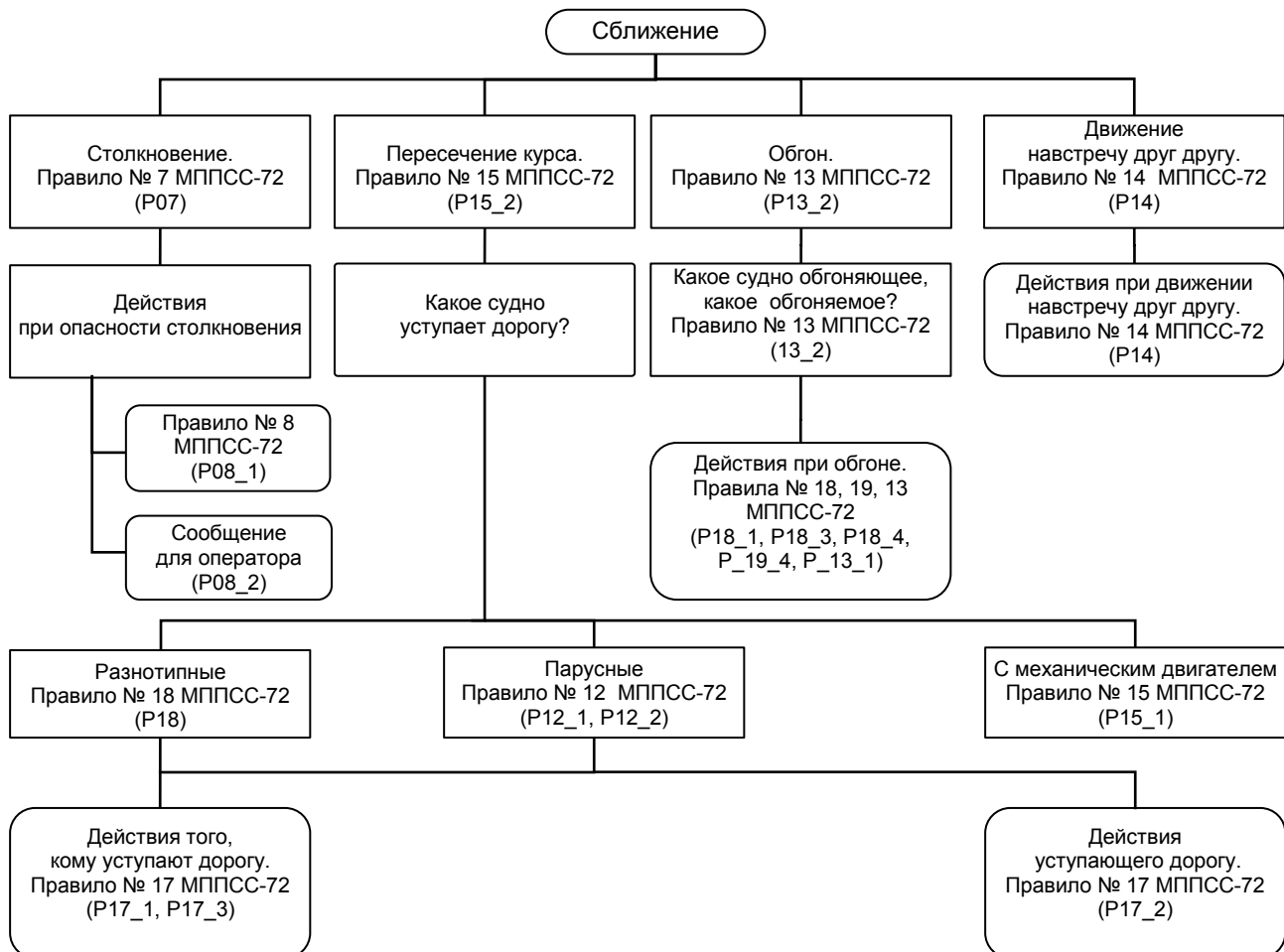


Рис. 5. Дерево правил базы знаний

представление модели через другие структуры, например, шаблоны фактов или через совокупность фактов.

Используя графы (см. рис. 2, 3), реализуем продукцию на языке COOL и получим следующий набор правил для решения ситуации чрезмерного сближения судов (рис. 5), представленный иерархически для отражения взаимосвязей между отдельными продуктами.

Правила, составляющие ветви дерева, — идентификационные правила, они определяют характер ситуации и роли судов в этой ситуации. Правила, являющиеся листьями дерева, — правила-действия, они вырабатывают конкретную рекомендацию. Одному правилу нормативного документа «Международные правила предупреждения столкновений судов в море — 72» не всегда соответствует одна продукция, так как правила содержат несколько пунктов и для различных судов содержат различные указания, например, правило № 18. Некоторые правила содержат информацию о признаках определенной ситуации и указания к действию, поэтому они также делятся на две или более продукции, например, правило № 13.

Правила формируют выходные текстовые файлы с рекомендациями и объяснениями, а также передают интерфейсу когнитолога информацию, необходимую для отображения опасных ситуаций. Для структурирования выходных данных ЭС предлагается ввести теги, как наиболее простой и отработанный механизм разметки текстовой информации. Правило в общем виде будет выглядеть следующим образом:

```
(defrule Название_правила
  ?o_i <- (object (Имя_j_слота_i_объекта ?oi_j));
  присваивание локальным переменным значений слотов
  объекта
  (test (условие))
  =>
  (send ?o_k put-Имя_слота_n значение); действие
  (printout Файловая_переменная1
    "<id_ситуации> номер ситуации </id_
  ситуации>
    <ситуация> название ситуации </ситуация>
    <id_судна> идентификатор судна </id_судна>
    <рекомендация> рекомендация </рекомендация>
    <объяснение> объяснение рекомендации </
  объяснение>
    <уровень_опасности> уровень </уровень_
  опасности>
    <отчет> название документа </отчет> ")
  (printout Файловая_переменная2
    "условие – действие - рекомендация"))
```

В левой части правил происходит получение необходимых данных для вычисления условия. В локальные переменные $?oi_j$ записываются значения слотов необходимых объектов (i — индекс объекта, j — индекс слота объекта). Если в

правой части предусмотрено действие по изменению состояния данных, то создается локальная переменная $?o_i$ для указателя на объект (его адрес).

Кроме действий, между тегами записывается необходимая информация, полученная от эксперта. Номер ситуации — это порядковый номер возникающей опасной ситуации; название ситуации содержит краткое обозначение, тип ситуации (например, столкновение с суши, потеря контакта и т.д.); идентификатор судна может быть бортовым номером или первичным ключом в БД; рекомендация содержит указания эксперта по разрешению ситуации при выполнении условия; уровень опасности задает степень опасности по шкале от 1 до 4; название документа — имя файла, содержащего подходящий документ по текущей ситуации; объяснение — ссылка на нормативный документ, объяснение решения.

Второй оператор записи содержит описание продукции для отладки и контроля работы БЗ. Эти части необязательно должны быть в каждой продукции, обязательным является лишь второй оператор записи данных. Могут быть продукция, содержащие только действие, часть тегов может быть опущена (кроме номера ситуации, если есть оператор записи в первый файл).

Пример продукции «Опасность столкновения судов»:

```
(defrule P08_2
  (declare (salience 5))
  (object (ID_ситуация ?id) (stolknovenie ?pp) (sudno1_
  id ?id1) (sudno2_id ?id2) (id_раион ?rai) (t_k ?t))
  (object (ID_судно ?s_id) (type ?tip)(manevr ?m1)
  (x ?x1)(y ?y1) (S_name ?n))
  (object (ID_судно ?s_id1) (type ?tip1) (manevr ?m2)
  (x ?x2)(y ?y2) (S_name ?n1))
  (test (and (<> ?s_id1 ?s_id) (<> ?id 0) (<> ?s_id1
  0)(<> ?s_id 0) (and (or (= ?s_id ?id1) (= ?s_id ?id2))
  (or (= ?s_id1 ?id1) (= ?s_id1 ?id2)))) (eq ?pp yes)
  (eq ?pr A) (<= (rasstojanie ?x1 ?x2 ?y1 ?y2) ?*Rb*)
  (or (< ?t ?*t_k*) (= ?t 0)))
  =>
  (printout F2 "<id_ситуации> " ?id " </id_
  ситуации> " crlf
    " <ситуация> столкновение судов " ?n "
    (" ?s_id") " ?n1 " (" ?s_id1") </ситуация>
    <id_судна> " ?s_id " </id_судна> <рекомендация>
    судно " ?s_id " должно уменьшить ход или
    остановиться, застопорив свои движители или дав
    задний ход </рекомендация> <объяснение>
    ПРАВИЛО 8 (ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ
    ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ)
    (e) Если необходимо предотвратить столкновение
    или иметь больше времени для оценки ситуации,
    судно должно уменьшить ход или остановиться,
    застопорив свои движители или дав задний ход.
    </объяснение> <отчет> 1.doc </отчет>
    <уровень_опасности> 4 </уровень_опасности> "
  crlf))
```


Данный формат продукции является лишь одним из возможных вариантов представления правила. При использовании шаблонов фактов или отдельных фактов левая часть правила претерпит изменения. Правая часть правила зависит от выбранного формата представления выходных данных системы, поэтому теги – лишь одна из множества альтернатив. Именно такой формат правила предложен для того, чтобы представить все возможные продукции единым образом, предоставляя средства для отображения любой типовой ситуации морского мониторинга.

Предложенный метод проектирования продукционной БЗ ЭСММ на основе неоднородного графа не требует от эксперта специальной подготовки, позволяет достаточно легко добавлять новые продукции, связанные с существующими, разделять модель знаний на отдельные подзадачи без ущерба ее целостности. Разработанная на его основе БЗ, реализованная в оболочке ЭС CLIPS на языке COOL, описывает набор типичных задач судоходства, обладает возможностью расширения для решения аналогичных задач морского мониторинга за счет встроенного в ЭСММ инструмента ведения и отладки БЗ. БЗ использо-

валась в рамках ЭСММ и прошла всестороннее тестирование по основным типичным ситуациям морского мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсебян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
2. Джарратано Д., Райлт Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. – 4-е издание / Пер. с англ. – М.: «ИД Вильямс», 2007. – 1152 с.
3. Конвенция от 20 октября 1972 г. «Конвенция о международных Правилах предупреждения столкновения судов в море, 1972 г.» – Режим доступа: http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_33261.html 18.12.2007 г.
4. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2002. – 464 с.
5. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.